

学 位 論 文 題 名

長期圧密粘土の力学挙動に関する研究

学位論文内容の要旨

時間効果を受けた粘土に特有な力学的挙動として、応力解放あるいは地下水位の上昇等の応力履歴を受けてない地盤においても圧密試験から得られる圧密降伏応力が現在の有効土被り圧よりも大きいことが知られている。したがって時間効果の影響を受けた粘土に載荷があった場合の圧縮挙動を如何に予測するかは重要な問題である。また、時間効果による強度増加についても有効な予測方法の確立が必要である。

静止土圧係数 K_0 値は、土構造物等の設計において重要な土質パラメータである。特に、有限要素法等によって地盤の弾塑性変形解析を行う際には、地盤の初期応力状態を特定する必要から、 K_0 値のもつ意味は極めて大きい。しかし、 K_0 値が時間効果によりどのように変化するかという問題提起がなされて久しいが、今だに確たる結論が得られていない。

本研究は、未解明な部分が多い時間効果を受けた長期圧密粘土の力学特性を明確にするため、不攪乱粘土および練り返した粘土を用いて種々に条件を変えて行った室内試験結果をもとに、まず K_0 条件での圧密およびその後の三軸試験の方法を確立し、それに基づいて実施した長期の K_0 圧密試験および K_0 長期圧密非排水三軸試験から得られる変形・強度特性について論じたものである。

本論文は8章より成り立っている。各章を要約すると以下のようなものである。

第1章では、まず研究の背景と目的を述べ、論文の構成を示している。

第2章では、過去に行われた室内における K_0 値の測定方法について検討を行い、問題点を明確にしている。そして、最良な実験装置および実験方法について言及している。すなわち、圧密容器を用いる実験の場合には、圧密リングにひずみゲージを取り付け直接側方応力を測定できる方法を採用した。さらに圧密圧力を供試体底部で測定し、背圧も載荷できる構造とした。三軸 K_0 圧密装置は、通常の三軸試験装置を用いて、コンピュータにより自動制御および自動計測を行う方法とした。

第3章、第4章では、それぞれ三軸 K_0 圧密試験、圧密非排水三軸圧縮、伸張試験の結果に及

ばす要因について詳細に検討し、最適な試験方法の提案を行っている。

第3章では、三軸試験装置を用いた K_0 圧密試験方法について、実験条件を種々に変え、それが測定される K_0 値およびその後の非排水せん断試験結果に対しどのように影響するかを検討し、最適な実験方法の提案を行っている。すなわち、三軸 K_0 圧密試験における圧密圧力の載荷方法としては任意に圧密応力が設定できる必要があり、任意の応力まで鉛直応力を漸増載荷し、その後一定に保つような方法を採用している。そして、この方法による場合の側方ひずみの制御方法、圧密圧力の載荷速度および実験中の温度変化の影響について詳細に検討している。さらに、除荷時の側方ひずみの制御方法についても調べている。また、 K_0 圧密時の諸条件がその後の非排水せん断挙動に及ぼす影響について調べるため、一連の K_0 圧密三軸圧縮試験を行い、圧密時間および圧密圧力の載荷方法が、非排水せん断特性に及ぼす影響について検討している。

第4章では、圧密非排水三軸圧縮・伸張試験結果に及ぼす諸要因について検討している。まず、長期圧密粘土の非排水せん断特性を把握するために、基準となる圧密時間の決定方法を確立するため4種類の粘土を用いて圧密時間を変えた実験を行っている。つぎに、変形・強度特性に及ぼす排水用ろ紙の種類および面積率の影響について検討している。さらに、三軸伸張試験において供試体高さを変えた実験から供試体の寸法（直径／高さ比）について検討している。

第5章から第7章までは、第3章および第4章で得られた結論を考慮した実験結果から、長期圧密粘土の力学挙動を把握することを目的としている。

第5章では、3種類の粘土に対し最長70日間に及ぶ長期 K_0 圧密を行い K_0 値が圧密時間とともにどのように変化するかを検討している。また、圧密容器による K_0 圧密試験および三軸 K_0 圧密試験から得られる K_0 値について比較している。これらの実験装置を用いて長期間の実験を行う際、十分に考慮しなければならない要因として、圧密容器においては周面摩擦の影響があり、三軸試験ではゴムスリーブの透水性の問題がある。これらの問題を解決した後、長期にわたる実験を行っている。また、圧縮指数および二次圧密係数が圧密圧力により変動するような不攪乱粘土の正規圧密状態での K_0 値も調べている。さらに、長期間過圧密状態におかれ体積変化が膨張傾向から圧縮傾向へ移行した場合の K_0 値についても調べている。

第6章では、長期圧密粘土のせん断特性と比較するため応力解放により軽く過圧密された粘土の非排水せん断挙動について検討している。実験は、等方および K_0 圧密条件で過圧密比10を最大として行い、過圧密時の K_0 値の増加の予測を簡単な試験から求める方法を提案している。さらに、過去に提案された過圧密粘土の非排水強度推定式がどの程度の過圧密比まで適用できるかを検討している。

第7章では、長期圧密粘土の非排水せん断特性について、同じ過圧密比を持つ過圧密粘土のせん断特性と対比しつつ検討している。圧密条件（等方・ K_0 ）およびせん断条件（圧縮・伸張）により、両者の非排水せん断挙動がどのように異なるかを調べている。さらに、これをもとにして、長期圧密粘土のせん断挙動の予測方法について検討している。

第8章は、本論文の結論であり、一連の研究成果を取りまとめている。すなわち、三軸 K_0 圧密試験方法および圧密非排水三軸圧縮・伸張試験方法について、試験結果に及ぼす要因について詳細に検討し試験の方法を提案している。さらに、長期圧密中の K_0 値は、二次圧密係数が時間とともに変化するような場合においても一定であり、過圧密状態でも同様としている。また、長期圧密粘土の非排水強度は、同じ過圧密比を持つ過圧密粘土と同じとして推定可能であるが、変形係数および破壊時の軸ひずみおよび間隙水圧係数は、受けた履歴（時間・応力）、圧密条件（等方・ K_0 ）およびせん断条件（圧縮・伸張）により大きく異なるとしている。したがって、小さな過圧密比を持つ粘土地盤についての変形解析にあたっては、過去に受けた履歴を十分に検討した上で必要なパラメータを決定する必要があることを明らかにしている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	三田地利之
副査	教授	土岐祥介
副査	教授	角田與史雄
副査	教授	石島洋二

自然堆積の地盤においては、一般に水平方向に変形のない状態で圧密が進行し、長時間経過して平衡状態に達している。この時の鉛直有効応力と水平有効応力の比で定義される静止土圧係数 K_0 値は、土構造物等の設計において重要な土質パラメータである。特に、有限要素法等によって地盤の弾塑性変形解析を行う際には、地盤の初期応力状態を特定する必要から、 K_0 値のもつ意味は極めて大きい。しかし、 K_0 値が時間とともにどのように変化するかという問題提起がなされて久しいが、今だに確たる結論が得られていない。また、長時間圧密後の粘土の変形・強度特性についても未解明な部分が多いのが現状である。

本研究は、このような背景の下で長期圧密粘土の力学特性を明らかにするため、不攪乱粘土お

よび繰り返した粘土を用いて種々に条件を変えて行った室内試験結果をもとに、まず K_0 条件での圧密およびその後の三軸試験の方法を確立し、それに基づいて実施した長期の K_0 圧密試験および K_0 長期圧密非排水三軸試験から得られる変形・強度特性について論じたものである。

第1章では、まず研究の背景と目的を述べ、論文の構成を示している。

第2章では、過去に行われた室内における K_0 値の測定方法について検討を加え、問題点を明確にしている。そして、最良な実験装置および実験方法について言及している。

第3章では、三軸試験装置を用いた K_0 圧密試験方法について、実験条件を種々に変え、それが測定される K_0 値およびその後の非排水せん断試験結果に対しどのように影響するかを検討し、最適な実験方法の提案を行っている。また、 K_0 圧密時の諸条件がその後の非排水せん断挙動に及ぼす影響について調べるため、一連の K_0 圧密三軸圧縮試験を行い、非排水せん断特性に及ぼす圧密時間および圧密圧力の載荷方法の影響について検討している。

第4章では圧密非排水三軸圧縮・伸張試験結果に及ぼす諸要因について検討している。まず、長期圧密粘土の非排水せん断特性を把握するために、基準となる圧密時間の決定方法を確立するため4種類の粘土を用いて圧密時間を変えた実験を行っている。つぎに、変形・強度特性に及ぼす排水用紙の種類および面積率の影響について検討している。さらに、三軸伸張試験における最適な供試体寸法（直径／高さ比）を提案している。

第5章では、3種類の粘土に対し最長70日間に及ぶ長期 K_0 圧密を行い、圧密時間に伴う K_0 値の変化について検討している。また、圧密容器による K_0 圧密試験および三軸 K_0 圧密試験から得られる K_0 値について比較している。これらの実験装置を用いて長期間の実験を行う際の問題点を詳細に検討し、具体的な解決策を示した後、長期にわたる実験を行い、長期圧密中の K_0 値は二次圧密係数が時間とともに変化する場合でも一定であること、長期間過圧密状態におかれ、体積変化が膨張傾向から圧縮傾向へ移行した場合でも K_0 値は一定であることを見出している。

第6章では、長期圧密粘土のせん断特性と比較する目的から、応力解放により軽く過圧密された粘土の非排水せん断挙動について検討している。実験は、等方および K_0 圧密条件で過圧密比10を最大として行い、過圧密時の K_0 値の増加を簡単な試験によって予測する方法を提案している。さらに、過去に提案された過圧密粘土の非排水強度推定式の適用範囲を明確にしている。

第7章では、長期圧密粘土の非排水せん断特性について、同じ過圧密比を持つ過圧密粘土のせん断特性と対比しつつ検討している。両者の非排水せん断挙動に及ぼす圧密条件（等方・ K_0 ）およびせん断条件（圧縮・伸張）の影響を調べ、長期圧密後の粘土の非排水強度は、過圧密粘土の強度推定方法と同じ手法によって推定可能であるが、変形係数については、履歴の違いや圧密

時およびせん断時の応力条件により大きく異なることから、過圧密比の小さな粘土地盤の変形解析にあたっては、過去に受けた履歴を十分に検討の上、必要な土質パラメータを決定する必要のあることを明らかにしている。

第8章は、本論文の結論であり、各章で得られた主な結論を要約している。

これを要するに、本論文は、室内試験による長期圧密時の粘土の K_0 値の測定方法および三軸試験の最適な実験方法を確立した上で、長時間圧密中の K_0 値の変化ならびにその後のせん断挙動を明らかにしており、粘性土地盤の変形解析上有用な知見を与えるもので、土質工学の進展に寄与するところ大である。

よって、著者は博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。